

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

**ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до практичних занять
з дисципліни**

«Ресурсозбереження на транспорті»

*(для студентів усіх форм навчання і слухачів другої вищої освіти
за напрямом (0922) 6.050702 «Електромеханіка»)*

Харків – ХНАМГ – 2011

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Ресурсозбереження на транспорті» (для студентів усіх форм навчання і слухачів другої вищої освіти за напрямом (0922) 6.050702 «Електромеханіка») / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: В. Х. Далека, О. С. Гордієнко, Н. В. Гарбуз. – Х.: ХНАМГ, 2011. – 27 с.

Укладачі: В. Х. Далека,
О. С. Гордієнко,
Н. В. Гарбуз

Рецензент: доцент кафедри «Електричний транспорт» ХНАМГ, к. т. н. М. І. Шпіка

Рекомендовано засіданням кафедри «Електричний транспорт»,
протокол № 2 від 21.09.10 р.

ЗМІСТ

Стор.

ВСТУП.....	5
1. РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИКИ НАМАГНІЧУВАННЯ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА.....	6
1.1 Загальна частина.....	6
1.2 Задачі до розділу.....	8
1.3 Контрольні питання.....	9
2. РОЗРАХУНОК ШВИДКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	9
2.1 Загальна частина.....	9
2.2 Задачі до розділу.....	10
2.3 Контрольні питання.....	11
3. РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК К.К.Д.....	11
3.1 Загальна частина.....	11
3.2 Задачі до розділу.....	16
3.3 Контрольні питання.....	17
4. РОЗРАХУНОК ТЯГОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	17
4.1 Загальна частина.....	17
4.2 Задачі до розділу.....	18
4.3 Контрольні питання.....	19
5. ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНИХ СИЛ ЗЧЕПЛЕННЯ КОЛЕСА З РЕЙКАМИ.....	19
5.1 Загальна частина.....	19
5.2 Задачі до розділу.....	20
5.3 Контрольні питання.....	21
6. ВИЗНАЧЕННЯ ПРИСКОРЕННЯ ТРАМВАЙНОГО ВАГОНУ І ВІДСОТКУ ВИКОРИСТАННЯ ВСТАНОВЛЕНОЇ ПОТУЖНОСТІ.....	21
6.1 Загальна частина.....	21

6.2 Контрольні питання.....	22
7. ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНИХ РОЗБІЖНОСТЕЙ СИЛ ТЯГИ МІЖ ДВОМА КОЛІСНИМИ ПАРАМИ І СУКУПНИЙ ВПЛИВ ОСНОВНИХ ФАКТОРІВ НА НЕРІВНОМІРНІСТЬ СИЛ ТЯГИ КОЛІСНИХ ПАР ТРАМВАЙНОГО ВАГОНА	23
7.1 Загальна частина.....	23
7.2 Контрольні питання.....	25
СПИСОК ДЖЕРЕЛ.....	26

ВСТУП

Виходячи з аналізу причин кризового стану електротранспорту, основним напрямком стабілізації роботи та розвитку є впровадження заходів з ресурсозбереження, що потребує розробки наукових основ раціонального використання ресурсів. Фактичний стан ресурсозбереження на міському електротранспорті, його законодавче, нормативне, технічне і наукове забезпечення, а також потреби галузі показують, що проблема раціонального споживання ресурсів є в даний час однією з основних і актуальних наукових проблем. Тому в сучасних економічних умовах господарювання при зростанні витрат паливно-енергетичних та інших ресурсів, при обмеженні коштів стає особливо актуальним для МЕТ розробка та впровадження проектів ресурсозбереження.

Ресурсозбереження на міському електричному транспорті значною мірою залежить від стабільності електромеханічних характеристик тягових двигунів і сил зчеплення коліс з рейками.

Основна мета практичних занять з дисципліни «Ресурсозбереження на транспорті» — розширення, поглиблення й деталізація наукових знань, отриманих студентами на лекціях та в процесі самостійної роботи і спрямованих на підвищення рівня засвоєння навчального матеріалу, прищеплення умінь і навичок, розвиток наукового мислення та мовлення студентів.

Окрім цього практичні заняття з дисципліни "Ресурсозбереження на транспорті" мають на меті роз'яснення виконання студентом розрахунково-графічної роботи шляхом розв'язання окремих завдань та відповіді на контрольні запитання.

Якість підготовки студентів до заняття та їх участь у розв'язуванні практичних завдань оцінюються викладачем і враховуються при виставленні підсумкової оцінки з цієї навчальної дисципліни.

1. РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИКИ НАМАГНІЧУВАННЯ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА

1.1 Загальна частина

Характеристика намагнічування є залежністю магнітного потоку від струму збудження або намагнічуючої сили полюсів.

Під намагнічуючою силою розуміється добуток струму збудження на кількість витків обмотки збудження головного полюса. У практичних цілях характеристику намагнічування тягового двигуна часто представляють у вигляді залежності добутку магнітного потоку на постійну машину від струму збудження або намагнічуючої сили полюсів.

Характеристика намагнічування тягового двигуна може бути розрахована за так званою нормованою характеристикою намагнічування (табл. 1). Ряд значень в таблиці є усередненими залежностями відношення магнітного потоку, струму збудження або намагнічуючої сили до відповідних номінальних значень, виражені у відносних одиницях. Оскільки розрахунок стосується тягового двигуна послідовного збудження, то на повному полі струм збудження дорівнює струму якоря.

Таблиця 1 – Нормована характеристика намагнічування

№ з/п	I_a/I_n	F/F_n	Φ/Φ_n
1	0,1	0,1	0,3
2	0,2	0,2	0,55
3	0,3	0,3	0,69
4	0,4	0,4	0,764
5	0,5	0,5	0,823
6	0,6	0,6	0,87
7	0,7	0,7	0,91
8	0,8	0,8	0,945
9	0,9	0,9	0,971
10	1,0	1,0	1,0
11	1,15	1,15	1,0425

Тобто, для розрахунку характеристики намагнічування спочатку потрібно знайти номінальний струм тягового двигуна, номінальний магнітний потік та номінальну намагнічуючу силу.

Номінальний струм тягового двигуна знаходиться за формулою

$$I_n = \frac{P_n}{U_n} \cdot \eta_n, \quad (1)$$

де P_n – номінальна потужність, Вт;

U_n – номінальна напруга, В;

η_n – номінальний коефіцієнт корисної дії двигуна у відносних одиницях.

Номінальну намагнічуючу силу розраховують за формулою

$$F_n = I_n \cdot W_{oz}, \quad (2)$$

де W_{oz} – число витків обмотки збудження

Розрахунок номінального магнітного потоку проводиться за формулою

$$\Phi_n = \frac{U_n - I_n \cdot R_{дг}}{C_e \cdot n_n}, \quad (3)$$

де n_n – номінальна частота обертання двигуна, об/хв.;

C_e – постійна машини, що залежить від її параметрів;

$R_{дг}$ – опір гарячого двигуна, Ом.

У практичній системі одиниць постійна машини визначається з виразу

$$C_e = \frac{p \cdot N}{60 \cdot a}, \quad (4)$$

де p – число пар полюсів двигуна;

N – число активних провідників якоря;

a – число паралельних гілок якірної обмотки.

Опір гарячого двигуна знаходять за формулою

$$R_{\text{дг}} = (R_{\text{а}20^{\circ}\text{C}} + R_{\text{оз}20^{\circ}\text{C}} + R_{\text{дп}20^{\circ}\text{C}}) \cdot \alpha, \quad (5)$$

де $R_{\text{а}20^{\circ}\text{C}}$ – опір обмотки якоря холодного двигуна, Ом;

$R_{\text{оз}20^{\circ}\text{C}}$ – опір обмотки збудження холодного двигуна, Ом;

$R_{\text{дп}20^{\circ}\text{C}}$ – опір обмотки додаткових полюсів холодного двигуна, Ом;

α – температурний коефіцієнт, що знаходять із залежності

$$\alpha = 1 + \beta(\Theta_2 - \Theta_1), \quad (6)$$

де Θ_2 – температура гарячого двигуна, $^{\circ}\text{C}$;

Θ_1 – температура холодного двигуна, $^{\circ}\text{C}$

β – коефіцієнт теплового опору міді, $^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Після знаходження номінальних значень струму, сили намагнічування та магнітного потоку двигуна слід помножити їх на відповідні відношення (табл.1).

1.2 Задачі до розділу

1. Визначити номінальний магнітний потік двигуна ТЕ-022 при номінальних: напрузі 285 В, струмі 127,5 А, частоті обертання – 28,7 Гц. Число активних провідників якоря – 270, опір обмотки якоря – 0,0545 Ом; опір обмотки збудження – 0,026 Ом; опір обмотки додаткових полюсів – 0,0245 Ом; температура гарячого двигуна – 115°C ; температура холодного двигуна – 20°C ; коефіцієнт теплового опору міді – $0,004^{\circ}\text{C}^{-1}$.
2. Розрахувати номінальний магнітний потік двигуна ТЕ-022 при номінальних: напрузі 260 В, струмі 144 А, частоті обертання – 1750 об/хв. Число активних провідників якоря – 290, опір обмотки

якоря – 0,0545 Ом; опір обмотки збудження – 0,026 Ом; опір обмотки додаткових полюсів – 0,0245 Ом; температура гарячого двигуна – 120°C; температура холодного двигуна – 20°C; коефіцієнт теплового опору міді – 0,004°C⁻¹.

1.3 Контрольні питання

1. Що називається характеристикою намагнічування?
2. Що розуміють під силою намагнічування?
3. Від чого залежить опір гарячого двигуна?
4. Що собою являє постійна машини?

2. РОЗРАХУНОК ШВИДКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

2.1 Загальна частина

Швидкісною характеристикою тягового двигуна називають залежність частоти обертання валу від струму якоря.

Число обертів двигуна знаходять за формулою

$$n = \frac{U_n - I_a R_{дг}}{C_e \Phi}. \quad (7)$$

Розрахунок швидкісних характеристик двигуна на ослабленому полі дещо змінюється.

На ослабленому полі до обмотки збудження двигуна підключається індуктивний шунт, внаслідок чого опір гарячого двигуна $R_{дг}$ змінюється.

Опір індуктивного шунта знаходять за формулою

$$R_{ш} = \frac{\gamma_{оп} \cdot R_{оз20^\circ C}}{1 - \gamma_{оп}}, \quad (8)$$

де $\gamma_{оп}$ – коефіцієнт ослаблення поля.

Тоді, з урахуванням підключення індуктивного шунта до обмотки збудження двигуна, опір гарячого двигуна на ослабленому полі зміниться таким чином:

$$R_{\text{дг}}^{\text{оп}} = (R_{\text{а}20^{\circ}\text{C}} + \frac{R_{\text{оз}20^{\circ}\text{C}} \cdot R_{\text{іш}}}{R_{\text{оз}20^{\circ}\text{C}} + R_{\text{іш}}} + R_{\text{дп}20^{\circ}\text{C}}) \cdot \alpha, \quad (9)$$

Для розрахунку частоти обертання двигуна на ослабленому полі використовуються ті ж самі струми якоря $I_{\text{а}}$, що і для повного поля. Але для визначення магнітного потоку $\text{Се}\Phi_{\text{оп}}$ використовуються струми збудження, які розраховуються за формулою

$$I_{\text{оз}} = I_{\text{а}} \cdot \gamma_{\text{оп}}. \quad (10)$$

Користуючись розрахованими струмами $I_{\text{оз}}$, за характеристикою намагнічування $\text{Се}\Phi = f(I_{\text{а}})$ знаходять значення магнітного потоку $\text{Се}\Phi_{\text{оп}}$.

Число обертів двигуна на ослабленому полі розраховують за формулою

$$n_{\text{оп}} = \frac{U_{\text{н}} - I_{\text{а}} R_{\text{дг}}^{\text{оп}}}{\text{Се}\Phi_{\text{оп}}}, \quad (11)$$

2.2 Задачі до розділу

1. Розрахувати частоту обертання двигуна трамвайного вагону Т-3 на ослабленому полі, якщо номінальна напруга дорівнює 285 В; струм якоря – 127,5 А; коефіцієнт ослаблення поля 0,78; магнітний потік – 0,015 Вб; опір обмотки якоря – 0,0545 Ом; опір обмотки збудження – 0,026 Ом; опір обмотки додаткових полюсів – 0,0245 Ом; температура гарячого двигуна – 125°C; температура холодного двигуна – 20°C; коефіцієнт теплового опору міді – 0,004°C⁻¹.

2. Розрахувати частоту обертання двигуна ТЕ-022, якщо номінальна напруга дорівнює 275 В; струм якоря – 130,1 А; число активних провідників якоря – 285; магнітний потік – 0,017 Вб; опір обмотки якоря – 0,0545 Ом; опір обмотки збудження – 0,026 Ом; опір обмотки додаткових полюсів – 0,0245 Ом; температура гарячого двигуна – 100°C; температура холодного двигуна – 20°C; коефіцієнт теплового опору міді – 0,004°C⁻¹.

2.3 Контрольні питання

1. Що таке швидкісна характеристика двигуна?
2. Поясніть з фізичної точки зору, чому і як змінюється опір гарячого двигуна на ослабленому полі?
3. За яких умов струм обмотки збудження дорівнюватиме струму якоря?

3. РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК К.К.Д

3.1 Загальна частина

Коефіцієнт корисної дії (к.к.д.) визначається як відношення корисної потужності до потужності, що споживається з мережі. Корисна ж потужність менша за споживану на величину втрат в двигуні. Частина споживаної енергії при роботі двигуна втрачається марно і розсіюється у вигляді тепла. Потужність втраченої енергії називають втратами потужності.

Втрати в двигуні поділяються на основні і додаткові. Основні, в свою чергу, складаються з механічних, магнітних (втрат у сталі) і електричних втрат.

До механічних втрат відносять втрати в підшипниках, втрати на тертя щіток об колектор і вентиляційні втрати. Магнітні втрати залежать від втрат в

осерді якоря і втрат у зубчатому шарі. Електричні втрати складаються з втрат на нагрів обмоток та електричних втрат у щітках

Механічні втрати розраховують за формулою

$$P_{\text{мех}} = P_{\text{підш}} + P_{\text{тер.щ}} + P_{\text{вент}}, \quad (12)$$

де $P_{\text{підш}}$ – втрати в підшипниках, Вт;

$P_{\text{тер.щ}}$ – втрати на тертя щіток об колектор, Вт;

$P_{\text{вент}}$ – втрати на вентиляцію, Вт.

Втрати в підшипниках визначають з виразу

$$P_{\text{підш}} = 0,002 U_n I_n. \quad (13)$$

Втрати на тертя в щіточному механізмі дорівнюють:

$$P_{\text{тер.щ}} = \sum S_{\text{щ}} \cdot 2p_{\text{щ}} \cdot k_{\text{тщ}} \cdot V_{\text{кол}}, \quad (14)$$

де $\sum S_{\text{щ}}$ – сумарна площа щіток, см^2 ;

$k_{\text{тщ}}$ – коефіцієнт, що враховує тиск на щітку;

$2p_{\text{щ}}$ – число щікотримачів, приймається $2p_{\text{щ}} = 2p$;

$V_{\text{кол}}$ – лінійна швидкість колектору, м/с.

Лінійну швидкість колектору визначають за формулою

$$V_{\text{кол}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{кол}}}{60} \cdot n, \quad (15)$$

де $D_{\text{кол}}$ – діаметр колектора, м.

Вентиляційні втрати дорівнюють:

$$P_{\text{вент}} = 0,03 \cdot V_a^3, \quad (16)$$

де V_a – лінійна швидкість якоря, м/с.

Лінійна швидкість якоря дорівнює:

$$V_a = \frac{\pi \cdot D_a}{60} \cdot n, \quad (17)$$

де D_a – діаметр якоря, м.

Магнітні втрати знаходяться за формулою

$$P_{\text{ст}} = 2,7 \cdot (P_a G_a + P_z G_z), \quad (18)$$

де P_a – питомі втрати в якорі, Вт/кг;

P_z – питомі втрати в зубчатому шарі, Вт/кг;

G_a – маса якоря, кг;

G_z – маса зубчатого шару, кг.

Втрати у зубчатому шарі занадто малі, як і маса цього шару, тож ними в даному розрахунку нехтують.

Питомі втрати в якорі знаходять з емпіричного виразу

$$P_a = \left[0,044 \cdot f + 5,6 \left(\frac{f}{100} \right)^2 \right] \cdot B_a^2, \quad (19)$$

де f – частота перемагнічування якоря, Гц;

B_a – індукція в якорі, Тл.

Частоту перемагнічування f обчислюють із співвідношення

$$f = \frac{p \cdot n}{60}. \quad (20)$$

Маса якоря розраховується за формулою

$$G_a = \frac{\pi \cdot D_a^2}{4} \cdot l_a \cdot \rho_{ст}, \quad (21)$$

де l_a – довжина осердя якоря, м;

$\rho_{ст}$ – щільність сталі, кг/м^3 .

Отже, магнітні втрати дорівнюють:

$$P_{ст} \approx 2,7 \cdot P_a G_a. \quad (22)$$

Електричні втрати знаходяться з виразу

$$P_e = P_{мід} + P_{щіт}, \quad (23)$$

де $P_{мід}$ – втрати на нагрів обмоток, Вт;

$P_{щіт}$ – втрати у щітках, Вт.

Втрати на нагрів обмоток розраховуються за формулою

$$P_{мід} = I_a^2 R_{дг}. \quad (24)$$

Причому опір гарячого двигуна змінюється залежно від режиму (повне поле, ослаблене поле).

Втрати у щітках визначаються так:

$$P_{\text{щіт}} = \Delta U_{\text{щ}} \cdot I_a, \quad (25)$$

де $\Delta U_{\text{щ}}$ – падіння напруги на щітках, В

Додаткові втрати визначають наступним чином:

$$P_d = P_{\text{ст}} \cdot k_d, \quad (26)$$

де k_d – коефіцієнт додаткових втрат.

Сумарні втрати в двигуні знаходять з виразу

$$\Sigma P = P_{\text{мех}} + P_{\text{ст}} + P_e + P_d. \quad (27)$$

Потужність, що береться з мережі, обчислюється таким чином:

$$P = U_n \cdot I_a. \quad (28)$$

На основі попередніх обчислень визначається коефіцієнт корисної дії:

$$\eta = \frac{P_{\text{кор}}}{P} = \frac{P - \Sigma P}{P} = 1 - \frac{\Sigma P}{P}, \quad (29)$$

де $P_{\text{кор}}$ – корисна потужність (потужність на валу двигуна).

3.2 Задачі до розділу

1. Визначити електричні втрати в двигуні ТЕ-022, якщо струм якоря – 125 А; опір обмотки якоря – 0,0545 Ом; опір обмотки збудження – 0,026 Ом; опір обмотки додаткових полюсів – 0,0245 Ом; температура гарячого двигуна – 125°C; температура холодного двигуна – 20°C; коефіцієнт теплового опору міді – $0,004^{\circ}\text{C}^{-1}$, падіння напруги на щітках – 2,3 В.
2. Визначити електричні втрати в двигуні ТЕ-022 на ослабленому полі, якщо струм якоря – 130 А; опір обмотки якоря – 0,0545 Ом; опір обмотки збудження – 0,026 Ом; опір обмотки додаткових полюсів – 0,0245 Ом; температура гарячого двигуна – 110°C; температура холодного двигуна – 20°C; коефіцієнт теплового опору міді – $0,004^{\circ}\text{C}^{-1}$, падіння напруги на щітках – 2,3 В, коефіцієнт ослаблення поля – 0,81.
3. Визначити механічні втрати в двигуні ТЕ-022, якщо номінальна напруга дорівнює 290 В; номінальний струм – 156 А; сумарна площа поверхні щіток – 5см^2 ; коефіцієнт, що враховує тиск на щітку – 0,6; діаметр колектора – 189 мм; частота обертання двигуна – 1710 об/хв; діаметр якоря – 212 мм.
4. Визначити магнітні втрати у двигуні ТЕ-022, якщо частота його обертання 1750 об/хв; індукція в якорі – 1,1975 Тл; діаметр якоря – 206 мм; довжина якоря – 220 мм; щільність сталі – $7,82 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.
5. Розрахувати значення ККД для двигуна ТЕ-022, якщо потужність, що береться із мережі – 31850 Вт; електричні втрати – 2035,6 Вт; механічні втрати – 564 Вт; магнітні втрати – 1258 Вт; коефіцієнт додаткових втрат – 0,6.

3.3 Контрольні питання

1. Що називають коефіцієнтом корисної дії?
2. Які бувають втрати потужності в електричних машинах постійного струму?
3. Від чого залежать магнітні втрати в двигуні?
4. Що собою являє характеристика к.к.д.?

4. РОЗРАХУНОК ТЯГОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК

4.1 Загальна частина

З механіки відомо, що порушення стану покою або зміна швидкості руху центру тяжіння будь-якого тіла можна спричинити тільки зовнішніми силами, що діють на це тіло.

Обертальний момент, що розвивається тяговим двигуном, зумовлений внутрішніми силами і призводить лише до обертання колеса, але не може викликати поступальний рух рухомого складу. Для зрушення з місця на рухомий склад повинна діяти зовнішня сила. Зовнішня сила виникає при контакті колеса з покриттям будь-якого виду. Прикладена до колеса зовнішня сила F_k , є силою зчеплення, що направлена по дотичній до окружності колеса в точці його дотику з рейками (або дорожнім покриттям), і також ця сила є силою тяги, що прикладена до геометричного центру колеса і викликає переміщення рухомого складу. Тому силу зчеплення F_k називають дотичною силою тяги колісної пари. Зазвичай на рухомій одиниці не одна моторна колісна пара, а декілька, тому результуюча сила тяги F_{po} дорівнює алгебраїчній сумі всіх F_k .

Залежність між силою тяги рухомої одиниці і її швидкістю на тому чи іншому ступеню регулювання і відповідних йому параметрах схеми включення двигуна називається тяговою характеристикою рухомої одиниці.

Дотична сила тяги колісної пари розраховується за формулою

$$F_{ki} = \frac{M \cdot \mu}{R_k}, \quad (30)$$

де M – момент тягового двигуна, Н·м;

μ – передатне відношення редуктора;

R_k – радіус колеса, м.

Момент на валу двигуна визначається з виразу

$$M = 9,74 \frac{U_n \cdot I_a}{n} \cdot \eta, \quad (31)$$

де D_k – діаметр колеса, м.

Сила тяги рухомої одиниці обчислюється так:

$$F_{po} = \sum_{i=1}^m F_{ki}, \quad (32)$$

де m – кількість моторних колісних пар.

Швидкість рухомої одиниці розраховується за формулою

$$V = \frac{3,6 \cdot \pi \cdot D_k}{60 \cdot \mu} \cdot n. \quad (33)$$

4.2 Задачі до розділу

1. Розрахувати силу тяги рухомої одиниці, якщо номінальна напруга двигуна – 300 В; струм якоря – 145 А; частота обертання двигуна – 28,5 Гц; ККД – 93%; передатне відношення редуктора – 7,37; діаметр колеса – 70 см.

2. Розрахувати силу тяги рухомої одиниці, якщо номінальна напруга двигуна – 270 В; струм якоря – 121 А; частота обертання двигуна – 1635 об/хв; ККД – 95,4%; передатне відношення редуктора – 7,41; діаметр колеса – 70 см.

4.3 Контрольні питання

1. Поясніть термін «дотична сила тяги».
2. Що називається тяговою характеристикою колісної пари?
3. Що називається тяговою характеристикою рухомої одиниці?

5. ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНИХ СИЛ ЗЧЕПЛЕННЯ КОЛЕСА З РЕЙКАМИ

5.1 Загальна частина

Коефіцієнт зчеплення ψ є одним з головних чинників, що впливають на експлуатаційні і техніко-економічні показники електричного транспорту. Від нього залежить вибір маси рухомого складу, допустимої швидкості руху, максимально допустимого ухилу, прискорення і гальмування. Він також визначає граничні сили тяги і гальмування за умовами зчеплення.

Сила тяги обмежується гранично допустимою силою зчеплення, що мають природу сил тертя. Якщо ця межа буде перевищена, станеться зрив зчеплення і почнеться боксування коліс, під час якого відбувається підвищений знос бандажів і рейок. Якщо в режимі гальмування гальмівна сила перевищить гранично допустиму силу зчеплення, колеса почнуть ковзати відносно поверхні шляху. Це явище називається юзом і є загрозою для безпеки руху, оскільки під час юзу збільшується час гальмування і гальмівний шлях. Окрім того, як і під час боксування, відбувається сильне стирання бандажів колісних пар.

Величину граничних сил зчеплення залежно від стану верхньої будови шляху знаходять з виразу

$$F_{зч} = Q \cdot \psi \cdot \rho, \quad (34)$$

де Q – вага вагону, Н;

ψ – коефіцієнт зчеплення колеса з рейками;

ρ – жорсткість характеристики зчеплення, яка показує ступінь зниження сили зчеплення залежно від швидкості вагону.

Вага вагону розраховується за формулою

$$Q = m \cdot g, \quad (35)$$

де m – маса вагону, кг;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2 .

При розрахунку сил зчеплення потрібно враховувати, що трамвайний вагон може рухатися як порожнім, так і завантаженим, а також як на чистих, так і на забруднених рейках.

Граничні сили зчеплення визначаються точками перетину тягових характеристик з характеристиками зчеплення.

5.2 Задачі до розділу

1. Визначити силу зчеплення колеса порожнього вагону Т-3 з рейками, якщо вага порожнього вагону – 17,5 тонн; коефіцієнт зчеплення – 0,05; жорсткість характеристики зчеплення – 0,25.
2. Визначити силу зчеплення колеса завантаженого вагону Т-3 з рейками, якщо вага завантаженого вагону – 30 тонн; коефіцієнт зчеплення – 0,03; жорсткість характеристики зчеплення – 0,25.

3. Визначити силу зчеплення колеса порожнього вагону Т-3 з рейками, якщо вага порожнього вагону – 17,5 тонн; коефіцієнт зчеплення – 0,17; жорсткість характеристики зчеплення – 0,25.
4. Визначити силу зчеплення колеса завантаженого вагону Т-3 з рейками, якщо вага завантаженого вагону – 30 тонн; коефіцієнт зчеплення – 0,13; жорсткість характеристики зчеплення – 0,25.

5.3 Контрольні питання

1. Поясніть природу сили зчеплення.
2. Наслідком якого процесу є юз рухомої одиниці?
3. Що називається боксуванням?
4. Які наслідки досягнення силою тяги значення граничної сили зчеплення?
5. Які наслідки досягнення гальмівною силою значення граничної сили зчеплення?

6. ВИЗНАЧЕННЯ ПРИСКОРЕННЯ ТРАМВАЙНОГО ВАГОНУ І ВІДСОТКУ ВИКОРИСТАННЯ ВСТАНОВЛЕНОЇ ПОТУЖНОСТІ

6.1 Загальна частина

Визначення прискорення порожнього і навантаженого вагону Т-3 при пуску, виходу на автоматичну характеристику і ослабленні поля першого й другого ступеня проводимо за формулою

$$a = \frac{F_{зч.гр} - Q \cdot \omega_0}{102 \cdot Q \cdot (1 + \gamma)}, \quad (36)$$

де a – прискорення, м/с²;

$F_{зч.гр}$ – гранична сила зчеплення, Н;

Q – вага вагону, кН;

ω_0 – основний питомий опір руху, Н/кН;

$(1 + \gamma)$ – коефіцієнт інерції обертальних мас.

Основний питомий опір руху визначається з виразу

$$\omega_0 = 5 + 0,005 \cdot V^2, \quad (37)$$

де V – швидкість вагону на тому чи іншому режимі, що відповідає $F_{зч\text{ гр}}$, км/год.

Для розрахунку відсотка використання встановленої потужності необхідно віднести використовувану потужність рухомої одиниці, обумовлену силами зчеплення, до встановленої:

$$P\% = \frac{P_{\text{вик}}}{P_{\text{вст}}} \cdot 100\% = \frac{U_{\text{н}} \cdot I_{\text{а}}^{3ч}}{P_{\text{н}} \cdot \eta^{3ч}} \cdot 100\%, \quad (38)$$

де $P_{\text{вик}}$ – використовувана потужність двигуна, обумовлена силами зчеплення, Вт;

$P_{\text{вст}}$ – встановлена потужність двигуна, Вт.

6.2 Контрольні питання

1. Охарактеризуйте вплив коефіцієнта зчеплення на тягові властивості трамваю?
2. Про що говорить використання встановленої потужності 106%?
3. Про що говорить використання встановленої потужності 36%?
4. Як різниться коефіцієнт інерції обертальних мас залежно від виду рухомого складу?

7. ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНИХ РОЗБІЖНОСТЕЙ СИЛ ТЯГИ МІЖ ДВОМА КОЛІСНИМИ ПАРАМИ І СУКУПНИЙ ВПЛИВ ОСНОВНИХ ФАКТОРІВ НА НЕРІВНОМІРНІСТЬ СИЛ ТЯГИ КОЛІСНИХ ПАР ТРАМВАЙНОГО ВАГОНА

7.1 Загальна частина

На моторному трамвайному вагоні кожна колісна пара приводиться в обертання окремим двигуном (так званий індивідуальний привод). Результируюча сила тяги утворюється сумою сил тяги окремих колісних пар. Всі двигуни і колісні пари не однакові і працюють в різних умовах. Розбіжність струмів двигунів тим вища, чим більше значення споживаного струму і його межа може сягати великих значень. Така нерівномірність струморозподілу обумовлена конструктивними, технологічними і експлуатаційними характеристиками візків трамвайних вагонів.

До конструктивних чинників слід віднести різну відстань між двигунами і загальною точкою живлення. Звідси відмінність довжин і опорів проводів якірного кола і кола збудження.

До технологічних чинників відносяться допуски на величини повітряних зазорів між якорем і головними полюсами, відмінності в коерцитивних властивостях електротехнічної сталі, допуски на колекторну і обмотувальну мідь, щітки.

До експлуатаційних чинників слід віднести допуски на діаметри бандажів колісних пар за кругами катання, розбіжність перехідних опорів контакторів.

Нерівномірність струморозподілу значно зменшує надійність роботи тягових двигунів. Збільшення різниці струму, що приводить до зміни частоти обертання якоря двигуна на 1%, приводить до двократного зростання відмов.

Перегрів машини на 8°C удвічі зменшує термін служби її ізоляції, тобто термін служби двигуна. Електромагнітний момент двигуна, сили тяги і

гальмування пропорційні струмам тягових електродвигунів. Перевантажені машини створюють істотно великі тягово-гальмівні моменти, що призводить до боксування або юзу коліс, сполучених з цими двигунами.

Залежність різниці струмів від величини повітряних зазорів може досягати значень 250 А/мм. Відхилення індукції в 1,5 рази призводить майже до двократної зміни нерівномірності струморозподілу, що веде до небажаних наслідків і в першу чергу до перевитрат ресурсів при експлуатації міського електротранспорту.

Розрахунок проводиться за чотирма основними факторами, що впливають на розбіжність сил тяги і нерівномірність струморозподілу:

- *розбіжність магнітних характеристик двигунів*: згідно з ГОСТ 2582-81 розходження магнітних характеристик тягових двигунів на повному полі може досягати $\pm 3\%$, на ослаблених полях першого і другого ступеня – $\pm 5\%$ і $\pm 7\%$ відповідно;
- *розбіжність опорів якірного ланцюгу*: граничні розбіжності опорів якірного кола складають $\pm 6\%$, при розрахунку за 100% приймається опори гарячого двигуна $R_{дг}$;
- *розбіжність опорів ланцюгів збудження*: на ослабленні поля паралельно обмоткам збудження включається індуктивний шунт; за рахунок розходження довжин сполучних проводів і перехідних опорів контактів, розбіжність опорів ланцюгів обмотки збудження може складати до $\pm 27\%$;
- *розбіжність діаметрів бандажів колісних пар*: цей параметр може досягати 16 мм, при чому цей розмір може відрізнятися від номінального тільки у бік зменшення, тобто одна колісна пара може мати номінальний діаметр 700, а друга – діаметр граничного зносу 684 мм.

Для визначення нерівномірності сил тяги трамвайного вагона потрібно визначити сумарну граничну нерівномірність сил тяги двох колісних пар шляхом сумування даних, отриманих з розрахунків за кожним фактором.

Ці дані будуть справедливі, якщо всі фактори одночасно дістануть своїх граничних значень. Але таке можливо тільки в теорії, тож для розрахунку з достатньою імовірністю можна вважати, що гранична нерівномірність сил тяги двох колісних пар складає 70% від сумарної, що приймається за 100%.

7.2 Контрольні питання

1. Що означає вираз «індивідуальний привод»?
2. Якими конструктивними чинниками обумовлена нерівномірність струмозподілу?
3. Які чинники, що обумовлюють нерівномірність струмозподілу, відносяться до технологічних?
4. Які чинники, що обумовлюють нерівномірність струмозподілу, відносяться до експлуатаційних?
5. Назвіть чотири основних причини розбіжності сил тяги колісних пар трамвайного вагону.
6. Оцініть вплив нерівномірності сил тяги на експлуатаційні властивості рухомої одиниці?

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Иванов М.Д., Пономарев А.А., Иеропольский Б.К. Трамвайные вагоны Т-3. – М.: Транспорт, 1977. – 240 с.
2. Байрыева Л.С., Шевченко В.В. Электрическая тяга: Городской наземный транспорт: Учебник для техникумов. – М.: Транспорт, 1986. – 206 с.
3. ГОСТ 2582 – 81. Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия. Действующий с 01.01.1983. М. – ИПК Издательство стандартов, 1998. – 36 с.
4. ДСТУ 3051 – 95 (ГОСТ 30166 – 95). Ресурсозбереження. Основні положення. Чинний від 01.01.1997. – К.: Держстандарт України, 1996. – 8 с.
5. ДСТУ 3886-99. Енергозбереження. Системи електроприводу. Метод аналізу та вибору. Чинний від 01.07.2000. К.: Держстандарт України, 2000. – 54 с.
6. Карпушин Е.І. Енергозаощадження на міському електротранспорті за рахунок удосконалення організації експлуатації. //Коммунальное хозяйство городов, вып. 28. – К: Техніка. – 2000. – С. 216 – 223.
7. Андерс В.И. Проектирование тяговых электрических машин городского электрического транспорта. – М.: Моск. энерг. ин-т., 1985. – 96 с.

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки
до практичних занять з дисципліни

«РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ТРАНСПОРТІ»

(для студентів усіх форм навчання і слухачів другої вищої освіти за
напрямом (0922) 6.050702 «Електромеханіка»)

Укладачі: **ДАЛЕКА** Василь Хомич,
ГОРДІЄНКО Ольга Сергіївна,
ГАРБУЗ Нонна Володимирівна

Відповідальний за випуск: проф., д. т. н. *В. Х. Далека*

Авторська редакція

Комп'ютерне верстання: *І. В. Волосожарова*

План 2010, поз. 159 М

Підп. до друку 12.01.2011р.
Друк на ризографі
Тираж 50 пр.

Формат 60x84/16
Ум. друк. арк. 1,1
Зам. №

Видавець і виготовлювач:
Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 4064 від 12. 05. 2011 р.